

Satellitengestützte Erfassung des Stadtgrüns

Dosch, Fabian

Veröffentlichungsversion / Published Version

Zeitschriftenartikel / journal article

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Dosch, F. (2021). Satellitengestützte Erfassung des Stadtgrüns. *Stadtforschung und Statistik : Zeitschrift des Verbandes Deutscher Städtestatistiker*, 34(2), 8-16. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-75073-2>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY-NC-SA Lizenz (Namensnennung-Nicht-kommerziell-Weitergabe unter gleichen Bedingungen) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.de>

Terms of use:

This document is made available under a CC BY-NC-SA Licence (Attribution-NonCommercial-ShareAlike). For more information see: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>

Satellitengestützte Erfassung des Stadtgrüns

Mit dem Weißbuch Stadtgrün hat sich der Bund den Arbeitsauftrag gegeben, urbanes Grün bei der Stadtentwicklung zu stärken. Grundlage hierfür sind valide, zeitreihenfähige und qualifizierte Informationen zur Grünausstattung und zum Grünvolumen. Der Beitrag beschreibt zunächst die Grünausstattung und -entwicklung anhand der Flächenstatistik. Ergänzend dazu braucht es weitere Datengrundlagen. Dafür wurde in einem Ressortforschungsprojekt die Grünausstattung flächendeckend für alle deutschen Städte mittels Fernerkundung erfasst und ein Konzept für ein dauerhaftes Grünmonitoring erarbeitet. Dessen Methodik und erste Ergebnisse der bundesweiten Klassifikation werden hier beschrieben. Zudem werden Ergebnisse einer bundesweiten Landbedeckungsklassifikation für die Grünausstattung aus einem weiteren Projekt – incora – vorgestellt. An Fallbeispielen wird zudem das kleinräumige Potenzial für Grünqualität, Grünvolumen, Grünerreichbarkeit und zur sozialräumlichen Grünausstattung dargelegt.

Dr. rer. nat Fabian Dosch

Dipl.-Geograf, leitet das Referat Stadt-, Umwelt- und Raumbeobachtung im BBSR Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Zu seinen Themenschwerpunkten zählen Klimaanpassung, Stadtgrün, Flächenhaushalt und Landschaftsgestaltung

 fabian.dosch@bbr.bund.de

Schlüsselwörter:

Stadtgrün – Fernerkundung – Sentinel-2 – Grünvolumen – Grünstatistik

Grüne Infrastruktur in nachverdichtenden Städten

Der Zuzug in die wirtschaftlich prosperierenden Ballungsräume hält an. Die Bevölkerung wuchs in Deutschland seit 2005 um 1,8 Mio. Menschen, in Metropolen und Großstädten sogar etwas stärker, um gut 11 %. Lebten 1950 nur knapp 2/3 oder 62 % der Bundesbürger in Städten > 5.000 Einwohner (Ew.), waren es 2018 bereits 9/10 oder 89,8 % (BMI 2021). Von den 82 Großstädten wuchsen einige besonders stark, mit ihnen auch die Siedlungsdichte (Einwohner je Siedlungs- und Verkehrsfläche). Die Bevölkerung wuchs während der vergangenen beiden Jahrzehnte in den Innenstädten stärker als am Stadtrand, oft in Quartieren die aufgrund geringer Grünanteile auch lufthygienisch und klimatisch benachteiligt sind. Hier verdichten sich auch die Folgen des Klimawandels auf Mensch, Gebautes und Umwelt, insbesondere durch Hitzebelastung (städtische Wärmeinseln), Trockenheit und Starkregen. Die Zahl der Tropennächte (> 20°C T_{min}) wird sich noch in diesem Jahrhundert besonders in Innenstädten mehr als verdoppeln bis vervielfachen (BMI 2021). (...) Im Deutschlandmittel sind knapp drei Tropennächte mehr bis zur Mitte des Jahrhunderts und bis zu 16 Tropennächte mehr zum Ende des 21. Jahrhunderts möglich (85. Perzentil des RCP8.5). Im Rheintal sowie in städtischen Agglomerationen ist mit dem größten Zuwachs auf bis zu 30 Nächte im Jahr zu rechnen (UBA 2021).

Innenentwicklung und Wohnungsbau haben aus guten Gründen politische Präferenz. Um den Flächenverbrauch zu reduzieren gilt es, die Innenbereiche der Städte so gut wie möglich zu verdichten. Das Ziel der Bundesregierung aus der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie 2002, den durchschnittlichen täglichen Anstieg bis zum Jahr 2030 auf unter 30 Hektar zu begrenzen, wird seit kurzem ergänzt um das Ziel, auch in Deutschland eine Flächenkreislaufwirtschaft bis 2050 anzustreben (Bundesregierung 2021). Das heißt, es sollen dann netto keine weiteren Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke beansprucht werden. In der Konsequenz bedeutet dies, dass immer verdichteter gebaut werden muss, was zudem auch aus Klimaschutzgründen dringlich ist. Damit gehen aber auch Freiflächen und grüne Infrastruktur verloren. Grünflächen im Bestand werden beschnitten, bebaut, versiegelt. Die Ansprüche an und der Nutzungsdruck auf das verbliebene Stadtgrün steigen.

Die Corona-Pandemie erfordert zum einen neue Strategien für Wohnen und Handel und damit auch den nahegelegenen Freiraum in Innenstädten. Gleichmaßen steigen die Ansprüche auch an den Stadträndern und in suburbanen Räumen für preisgünstiges Wohnen, neue Arbeitsstätten, Freizeit und Erholungsnutzungen. Die Konflikte um knappe Flächen werden schärfer, insbesondere durch die Corona-Pandemie und das Bewusstsein um den Wert von „Freiraum – auch im wörtlichen Sinne“. Der Ausbau der Siedlungsinfrastruktur erfordert neue Strategien für die urbane grüne Infrastruktur, am Stadtrand wie auch in den oft klimatisch überhitzten Innenstadtlagen. Grüne Infrastruktur ist unter anderem für die Gesundheit wichtig. Sie dient der Gesundheitsförderung durch Sport und Bewegung im Freien sowie der Salutogenese, d. h. der Gesundheitserhaltung und Gesundheitsverbesserung z. B. durch Grün im Wohnumfeld, oder der individuellen Verhaltens- und Verhältnisprävention, d. h. der Nutzung von Angeboten einer grünen Infrastruktur.

Nun verfügt Deutschland im weltweiten Maßstab noch vielerorts über gut durchgrünte und locker bebaute Städte – ein Pfund für Lebensqualität und Krisenresilienz. Selbst das Zentrum der Hauptstadt Berlin ist durchgrünt (vgl. Abbildung 1), aber auch andere Großstädte wie Leipzig mit seiner grünen Lunge Weiße Elster, oder Frankfurt mit dem Hafenpark am Mainufer. Gewiss gilt das nicht für alle Kommunen, und viele Stadtquartiere haben große Gründefizite und noch mehr Probleme mit der Qualität des verbliebenen Grüns.

Bauliche Entwicklung muss einhergehen mit Grünausstattung und Grünqualität (BMUB 2015). Mit dem Weißbuch Stadtgrün (BMUB 2017) hat sich der Bund den Arbeitsauftrag gegeben, urbanes Grün zu thematisieren und durch eine integrierte und nachhaltige Stadtentwicklungspolitik zu fördern. Valide, zeitreihenfähige und qualifizierte Informationen zur Grünausstattung und zum Grünvolumen aber fehlen bislang bundesweit. Bund, Länder und Kommunen benötigen fundierte Informationen, um sachlich-räumliche Defizite und kritische Entwicklungen beobachten und Handlungsbedarf empirisch untermauern zu können. Grundlage hierfür ist die „Erfassung (...) der angemessenen Freiraumversorgung der Bewohnerschaft mit städtischen Grün- und Freiflächen“ (...), die der Formulierung von Standards zugrunde gelegt werden soll. Diese sollen differenziert auf die Nachfrage nach unterschiedlichen Qualitäten und Leistungen städtischer Grün- und Freiflächen eingehen (BMUB 2017: 13).

Die große Herausforderung für die Kommunen besteht darin, einerseits eine dichte und flächeneffiziente Bebauung im Innenbereich und andererseits eine angemessene und qualitätsvolle Versorgung der Bewohnerinnen und Bewohner mit privaten und öffentlichen grünen Freiräumen zu erreichen (BMUB 2017). Zu diesem Zweck sollen Kenn- und Orientierungswerte helfen, Mindeststandards der Ausstattung mit Grün zu sichern (Mattanovich et al. 2017).

Abb. 1: Durchgrünte Bebauung in Berlin Mitte



Foto: Jürgen Hohmuth, Mai 2018

In der Neuen Leipzig Charta für die Stadtentwicklungspolitik in Europa wird die grüne Stadt als eine von drei Dimensionen der Stadtentwicklung definiert. Ziel ist, mit gut gestalteter und unterhaltener sowie vernetzter grüner und blauer Infrastruktur die Grundlage für ein gesundes Lebensumfeld zu bieten (BMI 2020). Zur blau-grünen Infrastruktur (BGI) zählen grüne Freiräume innerhalb der Städte wie Parkanlagen, Friedhöfe, Kleingärten, Brachflächen, Spielbereiche und Spielplätze, Sportflächen, Straßenbegleitgrün und Straßenbäume, wassergebundene Oberflächen, Bachläufe und Vorfluter. Hinzu kommen Grünflächen an öffentlichen Gebäuden, Naturschutzflächen, Wald und weitere Freiräume, die zur Gliederung und Gestaltung der Städte entwickelt, erhalten und gepflegt werden müssen. Auch private Gärten und landwirtschaftliche Nutzflächen sind ein wesentlicher Teil des städtischen Grünsystems.

Flächenstatistische Erfassungsmöglichkeiten des Stadtgrüns

Grünflächen und Parks sind eine Kategorie der amtlich vektorisierten Geobasisdaten, die sich aus ALKIS oder ATKIS gewinnen lassen. Diese sind aber nutzungsbezogen, die Erfassungsmethoden werden zwischen den Ländern nur begrenzt einheitlich durchgeführt, was Zeitreihenanalysen erschwert. Die Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung basiert als Sekundärstatistik auf den Daten der Liegenschaftskataster- und Vermessungsbehörden der Länder und wurde 2016 auf die Grundlage des Amtlichen Liegenschaftskataster-Informationssystems (ALKIS) umgestellt. Durch Umschlüsselungen ergeben sich immer wieder Brüche in der Statistik (Statistisches Bundesamt 2021)¹, die auch künftig nicht auszuschließen sind, wenn eine Trennung zwischen Landbedeckungs- und Landnutzungskategorien für den Nutzungsartenkatalog der amtlichen Flächenstatistik ab 2023 erfolgen soll (Arnold et al. 2020).

Sport-, Freizeit- und Erholungs- sowie Friedhofsflächen, also im weiteren Sinne die urbane grüne Infrastruktur, nahmen 2019 unverändert gegenüber dem Vorjahr jeweils um 10 Hektar (ha) pro Tag zu. 2017 betrug der Anstieg gegenüber dem Vorjahr noch 15 ha. Zuvor waren die Anstiege noch deutlich höher und lagen in den 2000er Jahren zwischen 21 und 57 ha / Tag, in der damaligen Phase geringer Bautätigkeit teilweise noch über den Zunahmen für Wohnbau, Industrie und Gewerbe oder Öffentliche Einrichtungen.²

Insgesamt betrug der Flächenanteil von Grünanlagen an der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland zuletzt 6 %. Als Teil der Grünen Infrastruktur umfassen Grünanlagen laut Flächenerhebung bundesweit 312.968 Hektar, zzgl. 38.873 Hektar Friedhofsflächen, zusammen 351.968 Hektar. Dies entspricht insgesamt ca. 42 m² Grünanlagen und Friedhofsfläche je Einwohner.

Die Siedlungsflächen dehnen sich täglich um insgesamt 52 ha weiter aus, mit ihnen auch die Frei- und Grünflächen im erweiterten Siedlungsbereich. So wuchs der Anteil der Grünanlagen (Parks, Siedlungsgrünflächen, Botanische Gärten, Spielplätze, Kleingartenanlagen) an den Siedlungs- und Verkehrsflächen zwischen 1996 und 2018 in den 14 bevölkerungsreichsten Städten Deutschlands mit mehr als 500.000 Ew. von

18 auf 25 m² Grünanlagen-Fläche pro Kopf oder von 7,7 % auf 10,9 % (Destatis 2020). Ein Grund dafür liegt in der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung, wobei die Kompensation von Flächeninanspruchnahmen oft auf ehemaligen Frei- und Landwirtschaftsflächen erfolgt. Diese Ausdehnung der Grünflächen (Destatis 2020) verschleiert zudem, dass mit der Siedlungsausdehnung fortlaufend Böden mit hohem agrarwirtschaftlichem Ertragspotenzial und meist vielfältigen Bodenfunktionen verloren gehen. Daher ist neben der Betrachtung der Ausdehnung der Grünflächen auch immer der Verlust an Freiflächen³ zu berücksichtigen.

Diese Zahlen sagen darüber hinaus nichts über die Zugänglichkeit der Flächen und über die innerstädtische Verteilung aus.⁴ Hier zeigt eine WebGIS-Anwendung des ILS (Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung) zur Grünversorgung in deutschen Städten auch für Großstädte Defizite der Grünausstattung. Auf Basis einer Auswertung des Digitalen Landschaftsmodells 1:25.000 u. a. für öffentliche Grünflächen > 0,5 Hektar wird eine durchschnittliche Versorgung von lediglich 13,1 Quadratmetern pro Person (vgl. Aufsatz Fina in diesem Heft) festgestellt.

Überdies ist die o.g. Ausdehnung der Grünflächen zumindest für den innerstädtischen Bereich fraglich. Denn mit der seit einigen Jahren anziehenden Bautätigkeit wird im Bestand immer dichter gebaut, wie steigende Siedlungsdichten nahezu in allen Gemeindegrößen, aber besonders in den Großstädten und Metropolen zeigen. So ist die Siedlungsdichte in Großstädten im Mittel zwischen 2014 und 2018 um 107 Einwohner je km² Siedlungs- und Verkehrsfläche gestiegen, während sie im Bundesdurchschnitt mit 4 Ew./km² nahezu konstant geblieben ist. Und die durchschnittliche Ew.-Arbeitsplatzdichte pro km² Siedlungs- und Verkehrsfläche ist in Großstädten sogar um 264 Personen gestiegen gegenüber einer moderaten Zunahme von 45 Personen bundesweit (BMI 2021). Immer mehr Baulücken und Brachflächen im Bestand werden bebaut, wie erste Ergebnisse der Baulandumfrage 2020 des BBSR zeigen.⁵

Tab. 1: Erfassungsmöglichkeiten des Stadtgrüns

Kategorie	Mögliche Quellen
Amtliche vektorielle Geobasisdaten	ALKIS (Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem)
	ATKIS Basis-DLM (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem)
Freie Geodaten	OpenStreetMap, Daten von Grünflächenämtern
Geofachdaten	Grünflächeninformationssysteme (GRIS), Baumkataster
	Stadtbiotopkartierung
	LBM-DE (Ladbedeckungsmodell für Deutschland)
Fernerkundungsdaten	Luftbilder, Stereoluftbilder, Digitale Orthophotos (DOP)
	Laserscandaten (LiDAR)
	Satellitenbilddaten

Quelle: Eigene Darstellung Eichfuss/Dosch, ergänzt mit Daten aus BBSR 2021

Insgesamt lassen die flächenstatistischen Grundlagen unterschiedliche Interpretationen zur Grünausstattung zu, die einer Ergänzung um eine einheitliche Datengrundlage bedürfen.

Satellitendaten hatten sich bisher für ein Monitoring nicht durchgesetzt, da sie fehleranfällig bei Klassifikationen, abhängig von Wolkenbedeckung, Klassifikationsalgorithmus, Trainingsmethoden u. s. w. sind, zudem haben sie keinen direkten Bezug zur Landnutzung. Dabei haben Satellitendaten einige Vorteile gegenüber der Flächenstatistik: In der Regel lassen sich daraus großräumig einheitliche Klassifikationen erstellen, verfügen über eine hohe raumzeitliche Auflösung, sind viel kleinräumiger, aktueller, bieten schnelle Ergebnisse (vgl. Tabelle 2). Für eine bundesweite Erfassung bieten sich daher Satellitenbilddaten an, lokal kommen Luftbilder, Stereoluftbilder, Digitale Orthophotos (DOP) und Laserscandaten zum Einsatz (BBSR 2021) (vgl. Tabelle 1).

Erfassung der Grünausstattung deutscher Städte

Ziel des von BBSR/BMI finanzierten Ressortforschungsprojekts war eine bundesweit flächendeckende Erfassung der Grünausstattung von Städten in Deutschland. Dazu sollten vor allem Satellitendaten (Sentinel-2) aus dem europäischen Erdbeobachtungsprogramm Copernicus als alternative Informationsquelle genutzt werden. Neben der flächendeckenden Status-quo Erhebung wurden repräsentative Zeitvergleiche angestrebt. Erfasst werden sollten nicht nur die bereits ausgewiesenen städtischen Grün- und Erholungsflächen, sondern der gesamte Siedlungsraum einschließlich Privatgärten und weiteren Vegetationsflächen, die sich aus den bisher genutzten Datenbeständen nicht oder nur eingeschränkt extrahieren lassen.

Zudem sollten am Beispiel von Fallstudienstädten mit Hilfe hochauflösender Daten Erkenntnisse zur kleinräumigen Grünqualität und Grünvolumen, Sozialstruktur und Grünerreichbarkeit sowie Gründe für Defizite gewonnen werden. Die Betrachtung erfolgte dabei auf unterschiedlichen Maßstabsebenen (Städte, Stadtteile, Quartiere etc.).

Das Forschungsprojekt Fernerkundliche Erfassung des Stadtgrüns

Ziel des Vorhabens zur Erfassung der urbanen Grünausstattung „Wie grün sind bundesdeutsche Städte? – Fernerkundliche Erfassung und stadträumlich-funktionale Differenzierung der Grünausstattung von Städten in Deutschland“ war die Erarbeitung und Anwendung einer Methodik zur bundesweit flächendeckenden Erfassung von Stadtgrün in Deutschland.

Das Projekt hatte eine Laufzeit von November 2018 bis Juli 2021. Auftragnehmer waren das Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR), Forschungsbereich Monitoring der Siedlungs- und Freiraumentwicklung in Kooperation mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Standort Oberpfaffenhofen für die Aufbereitung und Klassifikation der Satellitenszenen, LUP – Luftbild Umwelt Planung GmbH Potsdam Bereich Fernerkundung für Fallstudien zur kleinräumigen Grünqualität und Grünvolumen, Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung gGmbH (ILS) Bereich Geoinformation & Monitoring für Fallstudien zur Sozialstruktur und Grünerreichbarkeit.

Bundesweite flächendeckende Erfassung und Klassifikation

Datenbasis für bundesweit einheitliche Landbedeckungsklassifikationen bilden Satellitendaten des europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus. Mit der Sentinel-Mission stehen kostenfrei und kontinuierlich Satellitendaten zur Verfügung. Sentinel-2 nimmt mit zwei baugleichen, hochauflösenden und multispektralen Satelliten die Erdoberfläche seit 2017 mit zeitlich engen Wiederholzyklen von 5 Tagen mit einer räumlichen Auflösung von 10 m auf.

Im Projekt wurden Rohdaten der Sommermonate Mai bis September genutzt, um phänologische Einflüsse durch die Variabilität der Vegetation berücksichtigen zu können. Wegen der vor 2017 geringer ausfallenden Wiederholraten des Überflugs war es notwendig, neben Aufnahmen aus dem Sommer 2015 auch Daten der Jahre 2016 und 2017 in die Bildanalyse einfließen zu lassen (Eichler et al. 2020). Genutzt wurden wolkenfreie Szenen bis zum maximalen Wolkenbedeckungsschwellwert von 60 %. Diese wurden mit einer Wolkenmaske vorprozessiert und sodann durch Überlagerung von Kacheln ein Medianmosaik aus vier spektralen Bändern erstellt. An-

Tab. 2: Flächenstatistische und fernerkundliche Erfassung der Flächennutzung

	Flächenstatistisch	Mit Fernerkundung
Räumliche Genauigkeit	abhängig von Mindesterfassungsgröße	abhängig von Rasterzellengröße
Aktualität	~3 Jahre Versatz	abhängig von Verfügbarkeit brauchbarer Szenen
Informationsgehalt	Landnutzungsdaten mit hohem thematischen Informationsgehalt	Landbedeckungsdaten = sichtbare Landbedeckung nach Klassen
Qualität	abhängig von Datenerhebung, Länderunterschiede, statistische Brüche	abhängig u. a. von Atmosphäre, Algorithmus, Trainingsgebieten, zeitl. Konsistenz der Szenen
Aufwand	aufwändige Erhebung in den Ländern, Abstimmungsprozesse	bei Automatisierung schnelle Ergebnisse
Positiv/Negativ	Informationsgehalt/räumliche und zeitliche Auflösung, hoher Aufwand	räumliche und zeitliche Auflösung, schnell umsetzbar/fehleranfällig

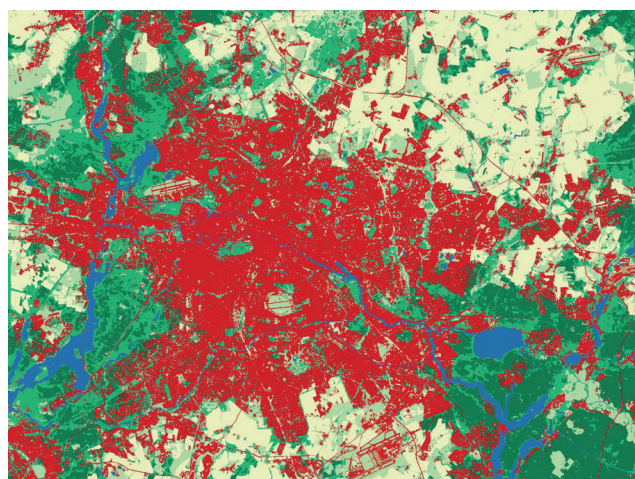
Quelle: Eichfuss 2021

schließlich wurde die Klassifizierung mit verschiedenen Indizes (NDVI, NDWI, NDBI) und Texturmerkmalen verbessert und mit Geodaten postprozessiert (vgl. Eichler et al. 2020).

Die Klassifikation wurde mit dem maschinellen Lernverfahren Random Forest gebildet. Die vollautomatische Klassifizierung basiert auf LUCAS-Referenzpunkten sowohl für 80 % Trainings- als auch für 20 % Validierungspunkte (Tenikl et al. 2019 in ebd.), die alle 3 Jahre, z. B. 2015, 2018, 2021 in einem 2 km² INSPIRE Raster vorliegen (Weigand et al. 2020). Im Ergebnis werden bei der Landbedeckungsklassifikation sieben Klassen unterschieden: bebaut/versiegelt, offener Boden, Laubholz, Nadelholz, Ackerland, Wiese und Wasser. Insbesondere die Klassen Laubholz, Nadelholz und Wiese spiegeln das städtische Grün wider (vgl. Abbildung 2). Die Klassifikation 2018 basiert auf viel besseren Auswahlzenen, da mit Sentinel 2A und B zwei Satelliten Daten lieferten und 2018 viele wolkenfreie Szenen vorlagen. Die ermittelten Gesamtgenauigkeiten (Overall Accuracy) sind mit 93,6 % 2015-2017 (Weigand et al. 2020) bzw. 92 % 2018 hoch. Große Unterschiede zwischen den beiden Klassifikationsprodukten sind optisch allerdings kaum zu erkennen.

Am Beispiel Berlin kann man gut das Klassifikationsergebnis erkennen, mit seinem Central Park – dem Tiergarten, der Grünen Wiese Tempelhofer Feld, den durchgrüneten Stadtteilen auch in zentralen Lagen, den Wiesenflächen des ehemaligen Flughafens Tegel oder den dicht durchgrüneten Stadtrandbezirken wie Köpenick oder Grunewald / Zehlendorf (vgl. Abbildung 3).

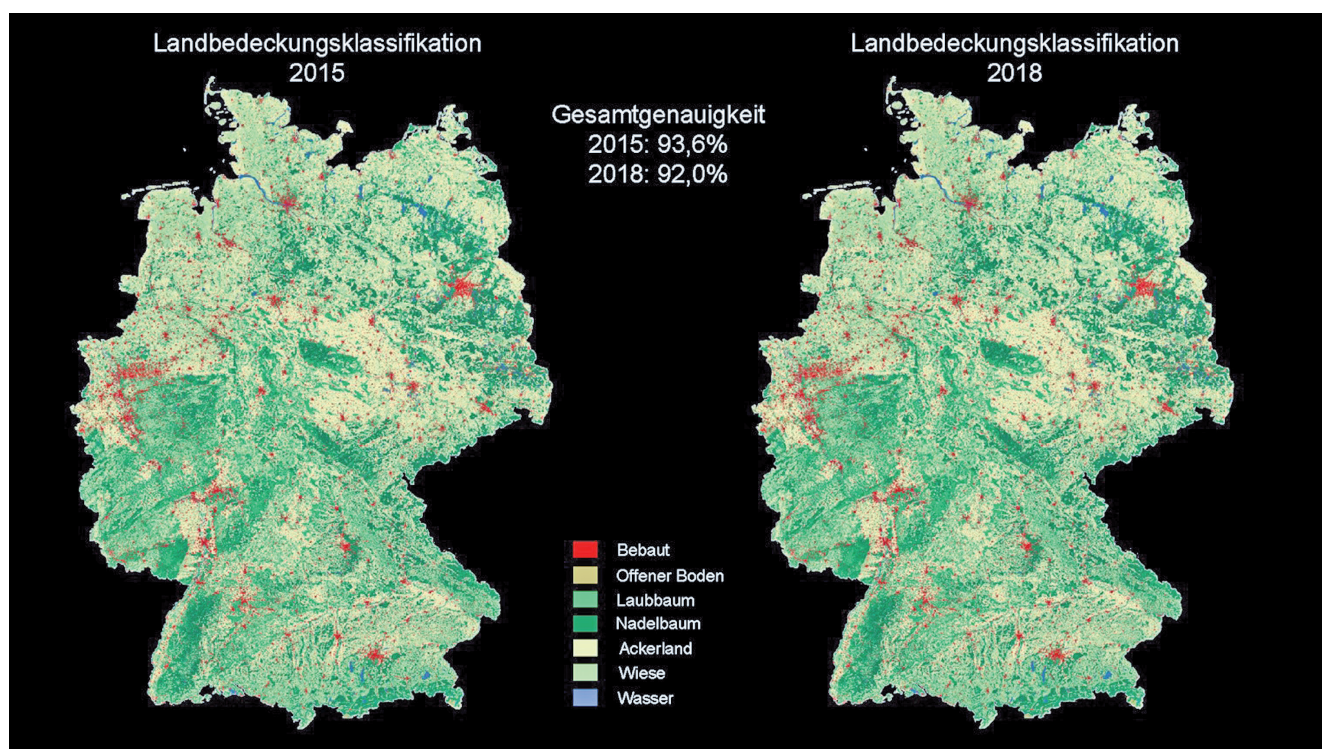
Abb. 3: Landnutzungsklassifikation 2015/17 für den Auszug Großraum Berlin



Quelle: Projektteam Monitoring des Stadtgrün

Weil einige Siedlungsflächen stärker durchgrünt sind, wurde durch ein Postprocessing-Verfahren eine weitere Klasse „durchgrünte Bebauung“ eingefügt. Im Ergebnis liegen Klassifikationsprodukte 2015–2017 und 2018 mit einer räumlichen Auflösung von 100 m² vor, für acht Landnutzungsklassen, darunter drei Grünklassen: niedrige Vegetation, Laub- sowie Nadelbäume. Damit liegt eine bundesweit einheitliche Erfassung des Stadtgrüns vor, die für verschiedene Fragestellungen, etwa klimatologische, sozialräumliche wie auch Verteilungs- und

Abb. 2: Landnutzungsklassifikationen 2015/2017 und 2018 mit 3 Grünklassen



Quelle: DLR/DFD und Forschungsteam Monitoring des Stadtgrün

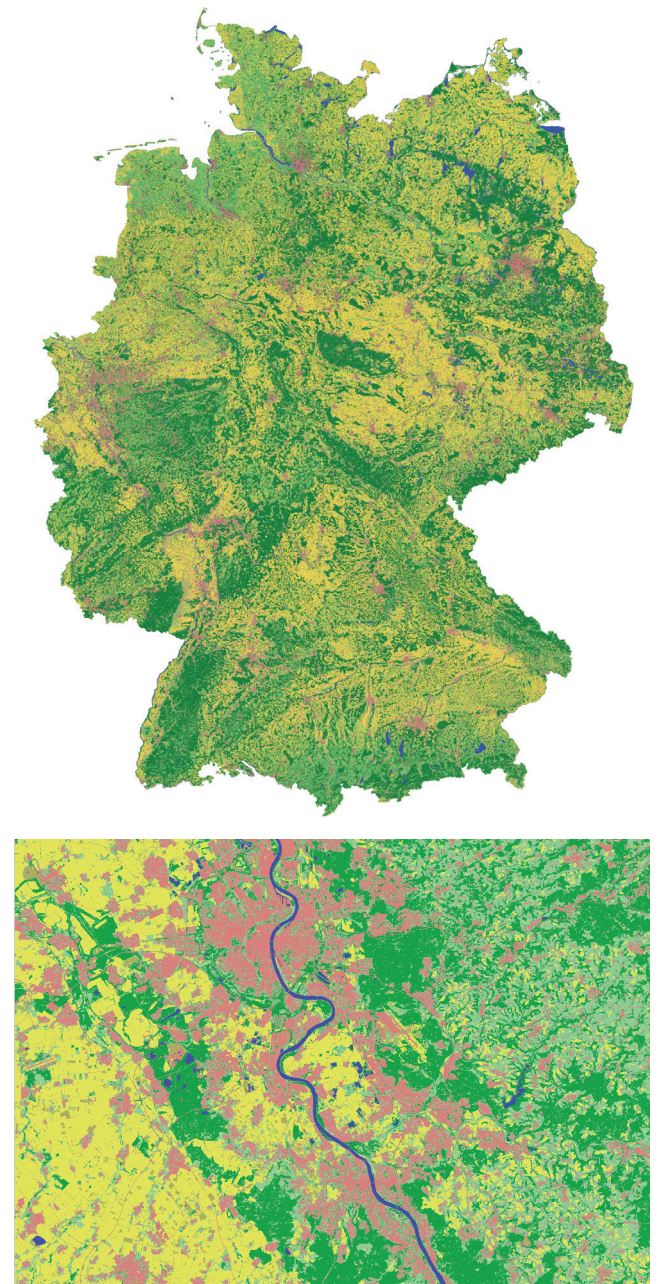
Erreichbarkeitsanalysen genutzt werden können. Trotz hoher Klassifikationsgüte sind Zeitvergleiche noch kaum möglich, da die Änderungen der Landnutzung in kurzen Zeiträumen kleiner sind als die Fehlertoleranz. Offensichtlich ist die 10x10 m Auflösung immer noch zu grob, um kleinräumige Änderungen der Nutzung von Grün und Nachverdichtungen zu kartieren. Für kommunale Detailuntersuchungen zum Stadtgrün sind also noch höherauflösende Daten oder eine Kombination mit anderen Verfahren erforderlich.

Exkurs: Klassifikation im Projekt *Incora*

Ein weiteres Projekt erarbeitet eine Landnutzungsklassifikation ebenfalls auf Basis von Sentinel 2, geleitet vom ILS mit den Partnern BBSR und der auf Fernerkundung spezialisierten Firma mundialis. Im Rahmen des Projekts *Inwertsetzung von Copernicus-Daten für die Raubeobachtung (incora)* wurde ein automatisches Verfahren entwickelt, um jährliche Landbedeckungsklassifikationen für ganz Deutschland zu erstellen. Die Klassifikationen verfügen über eine räumliche Auflösung von 10x10 m (Pixelgröße) und bilden die Klassen Bebaute Fläche, Grasland, Wald, Landwirtschaft, Vegetationsloser Boden und Wasser ab. Abweichend von dem zuvor geschilderten Verfahren wurden als Datengrundlage mit dem MAJA-Algorithmus atmosphärenkorrigierte Sentinel-2 Daten verwendet, die von EOC Geoservice des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) bereitgestellt wurden. Die für die Klassifikation benötigten Trainingsdaten sind dabei nicht LUCAS-Referenzpunkte, sondern werden regelbasiert aus Referenzdaten wie z. B. OpenStreetMap sowie den Sentinel-2 Szenen selbst erstellt. Dadurch lässt sich die Prozessierung flexibel auf unterschiedliche Jahre übertragen und vollautomatisch durchführen. Perspektivisch kann das Verfahren über die gesamte Lebensdauer der Sentinel-2 Satellitenmission angewendet werden, sodass auch langjährige Trends in der Landbedeckungsdynamik Deutschlands sichtbar gemacht werden können.

Das Ergebnis (vgl. Abbildung 4) zeigt 2016 eine bundesweite Landnutzungsklassifikation für sechs Klassen, darunter Wald (= hohe Vegetation) und niedrige Vegetation. Die Gesamtgenauigkeit liegt bei über 90 % (Riembauer et al.).

Abb. 4: Landbedeckungsklassifikation 2019 bundesweit und Ausschnitt Rheinland



Quelle: Mundialis im mFUND geförderten Projekt *incora*

Tab. 3: Grünausstattung mit niedrigem und hohem Grün laut Ergebnissen der Klassifikationen nach *incora* (2019) und nach Monitoring des Stadtgrüns (M. d. Stadtgrün 2015–2017)

	Niedriges Grün		Hohes Grün		Grün insgesamt	
	<i>incora</i>	M. d. Stadtgrün	<i>incora</i>	M. d. Stadtgrün	<i>incora</i>	M. d. Stadtgrün
Metropole	69	80	106	77	175	157
Großstadt	160	167	220	182	380	349
Mittelstadt	557	625	795	717	1.352	1.343
Kleinstadt	1.571	1.762	2.459	2.266	4.029	4.028
Landgemeinde	3.364	3.698	5.520	5.168	8.884	8.886
Insgesamt	987	1.099	1.544	1.420	2.532	2.519

Quelle: Hollen, Martina und Gesine Krischasky BBSR 2021, eigene Berechnungen

Ein Vergleich der beiden Klassifikationen incora (2019) und Monitoring des Stadtgrüns (2015–2017) zeigt, dass der Grünanteil je Ew. erwartungsgemäß mit zunehmender Gemeindegröße sinkt, er ist in den Metropolen ca. um den Faktor 8 kleiner als in Mittelstädten (vgl. Tabelle 3). Absolut auf die Flächenanteile bezogen ist der Anteil von Flächen mit Grünüberdeckung in den Metropolen mit durchschnittlich 44 % gegenüber 49 % kleiner als in den übrigen Großstädten, und steigt auf 53–54 % in den größeren bzw. kleineren Mittelstädten, sowie 59–60 % in den größeren bzw. kleineren Kleinstädten.

Die Unterschiede zwischen den beiden Projekten resultieren aus unterschiedlichen Satellitenszenen, Vegetationsbedeckungsgraden und Klassifikationen. Zudem war das Jahr 2019 erheblich trockener als 2015–2017. Ein weiterer Unterschied liegt in den unterschiedlichen Klassifikationsverfahren. In der Summe sind die Unterschiede jedoch vergleichsweise gering (vgl. Tabelle 3).

Flächenstatistische Auswertungen zum Stadtgrün

Die Landbedeckungsklassifikation 2015–2017 bildet die Grundlage für die Berechnungen des IÖR zur indikatorgestützten Erfassung des Stadtgrüns im Projekt *Monitoring des Stadtgrüns*. Dazu wurde aus der Landbedeckungsklassifikation die 10 x 10 m Pixel der Grünklassen (Vegetationstypen) Laubholz, Nadelholz und Wiese zu Grünflächen zusammengefügt. Durch Anreicherung der Klassifikation z. B. mit Landnutzungsinformationen aus dem ATKIS-BasisDLM können weitere Eigenschaften mit den einzelnen Grünflächen verknüpft und z. B. Grünflächentypen bestimmt werden. So lassen Betrachtungen der Grünflächen in den Teilgebieten Aussagen zu deren Anzahl und räumlicher Verteilung zu. Zudem sind auch Aussagen zum Verhältnis baulich geprägter zu grünbestandenen Flächen möglich. Städtische Teilgebiete lassen sich mit diesen Informationen in Grünstrukturtypen differenzieren. Die Ableitung von Indikatoren erfolgt gesamtstädtisch oder für Teilgebiete, z. B. auf Basis statistischer Bezirke. INSPIRE-konforme geografische Gitter bieten im Vergleich zu Verwaltungseinheiten den Vorteil,

dass sie ein Gebiet in identische, zeitlich stabile Raumeinheiten unterteilen, welche sich für flächendeckende und kleinräumige Analysen eignen.

Im Fokus stehen Berechnungen für fünf Kernindikatoren (Mattanovich et al. 2017) zu Anteilen, räumlicher Verteilung, Grünraumversorgung, Grünerreichbarkeit, Grünraumvernetzung, und klimaaktiven Flächen (BBSR 2021). Ein Beispielergebnis für die Grünraumversorgung zeigt für Berlin die stark unterschiedliche Grünausstattung zwischen den zentralen und randstädtischen Bezirken (vgl. Abbildung 5).

Allerdings hängt die Grünausstattung stark von den Raumbezügen ab, insbesondere ob administrative Bezüge oder davon abweichende Raumbezüge gewählt werden. Dies können z. B. standardisierte Puffereinheiten sein, z. B. ein 5 oder 10 km-Radius um die Innenstädte, Bahnhöfe oder Gemeindemittelpunkte (Zentroide), oder es können morphologische Grenzen gewählt werden, mit einem Distanzmaß zu den Siedlungsrändern. Dies zeigt eine Auswertung zur Frage „Welches ist die grünste Stadt?“ auf Basis der Daten aus dem Projekt Monitoring des Stadtgrüns (vgl. (Taubenböck, H., Reiter, M. et al. 2021)). Entscheidend ist dabei, dass ein Ranking der Grünausstattung maßgeblich von dem jeweiligen Raumbezug abhängt. Ohnehin geht es bei der Frage nach der Grünausstattung zuvorderst nicht um die Vergleichbarkeit von absoluten Ausstattungsgrößen, die ihre Ursache z. B. in unterschiedlichen topographischen Lagen haben können. Es geht vielmehr darum, im Zeitvergleich und auch innerhalb des Stadtgebietes Vergleichsmaßstäbe zu haben, z. B. für statistische Bezirke. I. d. R. ist dies mit dem Ziel verbunden, die Grünausstattung zumindest stabil zu halten und oder zu verbessern, ob flächenbezogen oder einwohnergewichtet. Hierfür können fernerkundliche Daten zur Grünausstattung einen erheblichen Mehrwert für die Festsetzung von Orientierungswerten und Zielgrößen und deren Vergleichbarkeit haben.

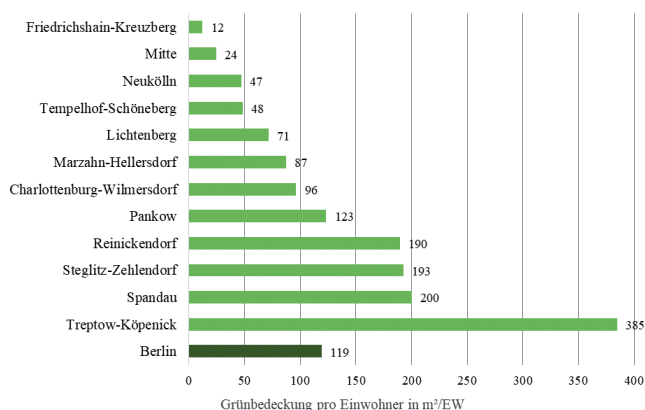
Grünvolumen, Gründefizite, Grünvitalität

Im Projekt wurden neben den bundesweiten Auswertungen auch Fallstudien durchgeführt. Fallstudienstädte waren Berlin, Leipzig, Potsdam, Bielefeld, Solingen, Saalfeld, Hanau, Schwäbisch Gmünd, um möglichst unterschiedliche Gemeindetypen und Lagekriterien abzubilden. Zum einen erfolgte eine detaillierte Betrachtung von Grünausstattung, Grünvolumen und Gründefiziten mit räumlich höherauflösenden Daten, die von dem Projektpartner LUP erhoben wurden. Datengrundlagen waren neben Stereo-RGBI-Luftbildern, RGBI-Orthophotos, Laserscan Daten und z. T. auf Sentinel 2 übertragene Klassifikationen.

So wurde die über Oberflächenmodelle und RGB-Stereo-Luftbilder und daraus für statistische Blöcke die Grünvolumenzahl berechnet. In etlichen Städten, z. B. Leipzig, bilden diese Auswertungen eine wichtige Grundlage für die Grünverwaltung. Es lassen sich auch über längere Zeiträume Vergleiche des Grünvolumens machen, wie für Potsdam von 1996 bis 2018.

Es lassen sich aber auch Defiziträume ermitteln, z. B. hinsichtlich der Absenkung der Lufttemperatur. Dabei wurde

Abb. 5: Einwohnergewichtete Grünausstattung 2018 in Berliner Bezirken



Quelle: IÖR für das Projekt Monitoring des Stadtgrün (BBSR 2021).

anhand mehrerer Fallstudienstädte der Zusammenhang von Grünvolumen pro Fläche (Grünvolumenzahl), Versiegelungsanteil und Oberflächentemperatur empirisch ermittelt – daraus erschließt sich, wieviel Grün fehlt, um einen Zielwert der maximalen Aufheizung zu erreichen (vgl. Abbildung 6). Hieraus wurde eine zentrale Formel abgeleitet: Soll die Temperatur zukünftig unter gleichen meteorologischen Bedingungen beispielsweise um 1° C gesenkt werden, so muss das Grünvolumen um 2,49 m³/m² Fläche erhöht werden.⁶

Darüber hinaus wurden Vitalitätsverluste von Gehölzen über den *Disease Water Stress Index* berechnet (vgl. Abbildung 7). So sind auch Vergleiche zwischen 2017 und 2019 für die Fallstudienstädte möglich. Weiterhin wurde ein hochauflöser Grünvolumenvergleich im belaubten und unbelaubten Zustand durchgeführt, der dann möglich ist, wenn für dasselbe Gebiet zeitnah eine Sommer- und Winterbefliegung durchgeführt wurde. Alle Beispiele sind im Detail im Endbericht dargestellt (BBSR 2021).

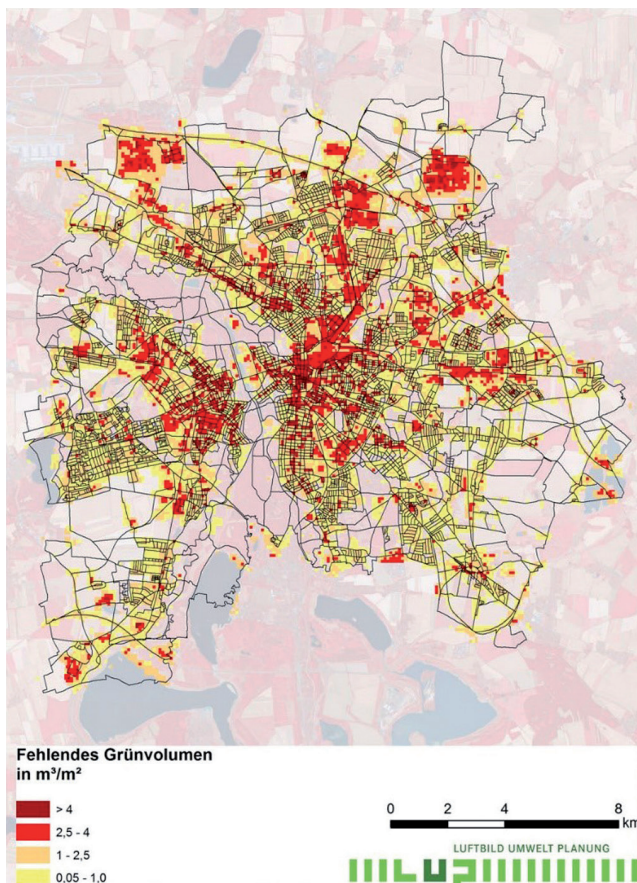
Kleinräumige Analysen zur Grünraumversorgung nach Lebenslagen wurden vom ILS Dortmund durchgeführt (siehe Beitrag Fina i. d. Heft). Dazu braucht es zusätzlich zum Grün-

volumen auch sozialräumliche Daten, wie dies z.B. für NRW mit Open Data und durch Ankauf von Geomarketing-Daten möglich ist. So lassen sich z. B. Grünausstattung nach sozialen Lagen oder SINUS-Milieus untersuchen.

Fazit und Ausblick

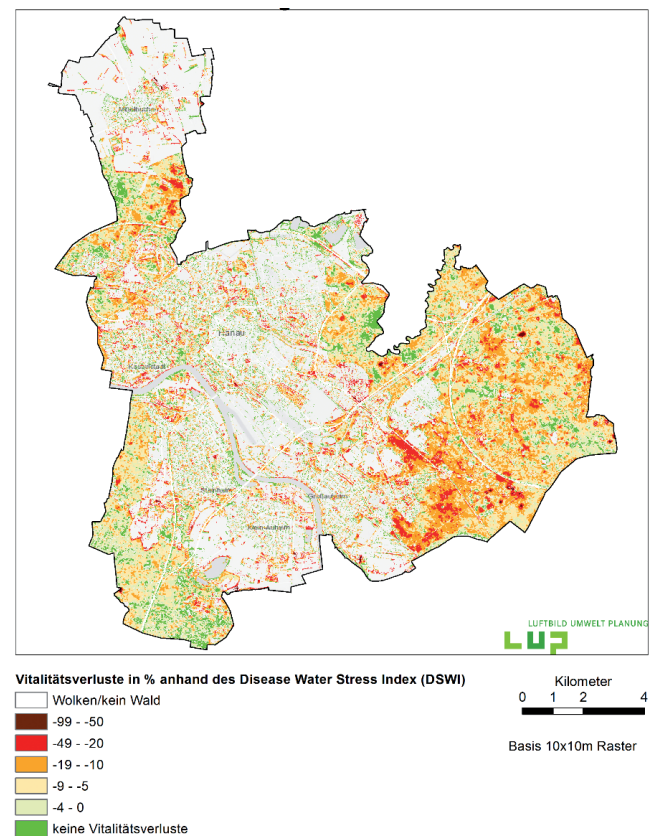
In den Projekten *Monitoring des Stadtgrüns* und *Incora* wurden jeweils nach einheitlicher Methodik bundesweite Klassifikationsprodukte auf 100 m² Basis für verschiedene Grünklassen erstellt. Unterschieden werden niedrige Vegetation, Laub- sowie Nadelbäume. Die Klassifikationsprodukte sind für flächenstatistische Auswertungen auf verschiedenen räumlichen Bezugsebenen nutzbar. So lassen sich Unterschiede auch bei der innerstädtischen Grünausstattung oder für verschiedene Gemeindegrößenklassen ermitteln. Die Ergebnisse können so als Ausgangspunkt dienen, z. B. den Erhalt der einwohnerspezifischen Grünausstattung oder Veränderungen für eine Gebietseinheit im Zeitverlauf zu prüfen oder stadregionale Vergleiche vorzunehmen. Damit wird es möglich Zielgrößen für die Ausstattung mit Stadtgrün für Teilräume von Städten

Abb. 6: Analyse defizitärer Räume in Leipzig hinsichtlich des Grünvolumens zur Beschränkung der mittleren Oberflächentemperatur auf 30° C



Quelle: LUP für das Projekt Monitoring des Stadtgrüns

Abb. 7: Vitalitätsverluste % anhand des Disease Water Stress Index (DWSI) am Beispiel Hanau 2017–2019



Quelle: LUP für das Projekt Monitoring des Stadtgrüns

zu formulieren, z. B. für die Grünausstattung in statistischen Bezirken oder Stadtquartieren, sowie für die Bauleitplanung und insgesamt zur Überprüfung dieser Zielgrößen. Die Zielgrößen können dabei auch als Korridore oder prozentuale Veränderungen zur Ausgangsgröße formuliert werden.

Allerdings: Siedlungsgrün wird durch die kostenfrei verfügbaren Daten von Copernicus Sentinel-2 jedoch erst ab einer Mindestgröße von 100 m² erfasst, zudem sind die Änderungen in den Grünflächen im Einjahresvergleich i. d. R. kleiner als die Klassifikationsgüte. Somit lassen sich die Daten gut für Strukturmuster, nicht aber für kurzfristige Veränderungsanalysen nutzen. Für kommunale Detailuntersuchungen sind höherauflösende Daten und die Kombination mit Geodaten sinnvoll.

Die Analysen der Fallstudien zu Grünvolumen, Gründefiziten, Grünvitalität zeigen zudem, was mit hochauflösenden Daten zur Grünausstattung fernerkundlich auswertbar ist. Diese Daten stellen eine zur Flächenstatistik ergänzende Datengrundlage für Kommunen und Stadtentwicklungspolitik dar. Neben der Grünausstattung ist die bundesweite Detektion des Grünvolumens und weiterer Grünindikatoren anzustreben.

Das Klassifikationsprodukt 2015–2017 von DLR/DFD ist für Deutschland unter dem Namen LandCover-DE als Datensatz frei verfügbar.⁷ Klassifikationsprodukte von incora sind auf der

Website von mundialis frei verfügbar.⁸ Es ist geplant, weitere Datensätze sukzessive auf Plattformen des BBSR und der Projektpartner zur Verfügung zu stellen.

- 1 Vgl. hierzu auch die Methoden- und Qualitätsberichte zur Flächenerhebung, abrufbar über www.destatis.de/DE/Methoden/Qualitaet/Qualitaetsberichte/Land-Forstwirtschaft-Fischerei/flaechenerhebung.html
- 2 <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/flaechennutzung/Tabelle/anstieg-suv.html>
- 3 Vgl. SDG-Indikator 11.1.b: Freiraumverlust; sustainabledevelopment.deutschland.github.io/11-1-b/
- 4 <https://www.ils-forschung.de/2020/09/ils-wissenschaftler-schauen-kritisch-auf-die-entwicklung-von-gruenflaechen-in-deutschen-grossstaedten/>
- 5 <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/exwost/Studien/2019/baulandumfrage/01-start.html?nn=2547954&pos=2>
- 6 Vgl. www.d-copernicus.de/infotehek/veranstaltungen/nationales-forum-2021/programm/d1-copernicus-neue-perspektiven-zur-raum-und-umweltbeobachtung-auf-kommunaler-ebene/, Folie 11
- 7 DOI: <https://doi.org/10.15489/1ccmlap3mn39>
- 8 <https://www.mundialis.de/de/deutschland-2019-landbedeckung-auf-basis-von-sentinel-2-daten/>

Literatur

Arnold, Stephan; Lucas, Christian; Pauly, Ralf (2020): Der neue Nutzungsartenkatalog zur erweiterten tatsächlichen Nutzung in der amtlichen Flächenstatistik. In: *WISTA – Wirtschaft und Statistik* 72, 2020, S. 44–56. Online verfügbar unter <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/214249/1/wista-2020-1-044-056.pdf>.

BBSR (Hg.) (2021): Wie grün sind deutsche Städte? Wissenschaftlicher Endbericht zum Projekt „Monitoring des Stadtgrüns“. Unter Mitarbeit von IÖR, DLR/DFD, LUP, ILS.

BMI (Hg.) (2020): Die Neue Leipzig-Charta. Die transformative Kraft der Städte für das Gemeinwohl. Informelles Ministertreffen Stadtentwicklung. Online verfügbar unter <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/2020/eu-rp/gemeinsame-erklaerungen/neue-leipzig-charta-2020.pdf>.

BMI (Hg.) (2021): Stadtentwicklungsbericht der Bundesregierung 2020. Online verfügbar unter <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/2021/04/stadtentwicklungsbericht-2020.pdf>.

BMUB (2015): Grünbuch Stadtgrün. Grün in der Stadt - für eine lebenswerte Zukunft. Unter Mitarbeit von Hagen P. Eyink und Fabian Dosch. 1. Auflage, Stand Mai 2015. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

BMUB (2017): Weißbuch Stadtgrün. Grün in der Stadt - Für eine lebenswerte Zukunft Grün in der Stadt. 2. Auflage. Bundesministerium

für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Online verfügbar unter https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/wohnen/weissbuch-stadtgruen.pdf?sessionid=3924F291476FDDC4D385C2E0D73BC436.2_cid295.

Bundesregierung (2021): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Weiterentwicklung. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998006/187-3516/3d3b15cd92d0261e7a0bcd8f43b783-9/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-nicht-barrierefrei-data.pdf?download=1>.

Destatis (Hg.) (2020): 25 Quadratmeter Grünanlage stehen Bewohnerinnen und Bewohnern deutscher Metropolen im Schnitt zur Verfügung. Statistisches Bundesamt. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2020/PD20_37_p002.html.

Eichler, Lisa; Krüger, Tobias; Meinel, Gotthard (2020): Wie grün sind deutsche Städte? Indikatorgestützte fernerkundliche Erfassung des Stadtgrüns: Wichmann Verlag.

Mattanovich, Ernst; Bürger, Gebriele; Fischer, Marielis; Neubauer, Ulrike; Stebegg, Katharina (Hg.) (2017): Handlungsziele für Stadtgrün und deren empirische Evidenz. Indikatoren, Kenn- und Orientierungswerte. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hg.).

Riembauer, Guido; Annika Weinmann; Shaojuan Xu; Silas Eichfuss; Charlotte Eberz; Markus

Neteler (Hg.): Germany-wide Sentinel-2 based Land Cover Classification and Change Detection for Settlement and Infrastructure Monitoring. Proceedings of the 2021 conference on Big Data from Space. 1 Band. Online verfügbar unter <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ac7c57e5-b787-11eb-8aca-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-209409367>.

Statistisches Bundesamt (2021): Siedlungs- und Verkehrsfläche wächst jeden Tag um 52 Hektar. Pressemitteilung 209. Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/04/PD21_209_412.html.

Taubenböck, H.; Reiter, M.; Dosch, F.; Leichte, T.; Weigand, M.; Wurm, M. (2021): Which city is the greenest? A multi-dimensional deconstruction of city rankings. *J. Computers, Environment and Urban Systems* (Vol. 89, S. 1–13). <https://doi.org/10.1016/j.compenvurb-sys.2021.101687>.

UBA (2021): Klimawirkungs- und Vulnerabilitätsanalyse 2021 für Deutschland. Kurzfassung (Climate Change, 26).

Weigand, Matthias; Staab, Jeroen; Wurm, Michael; Taubenböck, Hannes 2020: Spatial and semantic effects of LUCAS samples on fully automated land use/land cover classification in high-resolution Sentinel-2 data. In: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2020 (88). DOI: 10.1016/j.jag.2020.102065.